

ISSN 0132 – 0890  
www.rudmet.ru

# ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издается с 1961 года  
(№ 1117)

01.2025

*Тема номера:  
Производство труб (стр. 24-48)*



# ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом  
«Руда и Металлы»

№ 1 (1117), январь 2025 г.

Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал  
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

## Учредители:

Акционерное общество  
«Издательский дом  
«Руда и Металлы»

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСИС»

Федеральное бюджетное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г. И. Носова»

## При участии:

ПАО «ММК»  
ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева»  
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»  
ФГБУК «Государственный Эрмитаж»

Стратегическое партнерство



## Редакционный совет:

Главный редактор: В. М. Колокольцев  
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев  
Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников, А. Г. Воробьев

А. М. Беленький, В. Блек (Германия), Ю. Л. Бобарикин (Беларусь), О. И. Борискин, И. В. Буторина,  
Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада), Д. Г. Еланский,  
Н. А. Зюбан, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов, С. В. Коновалов, А. Г. Корчунов,  
А. В. Кушнарв, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Т. Н. Матвеева, А. В. Мунтин, А. Е. Пелевин, Ю. Ю. Пиотровский,  
И. М. Потравный, А. Н. Савенок (Беларусь), А. В. Серебряков, И. А. Султангузин, А. Я. Травянов, А. С. Харченко,  
Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, И. В. Чуманов, А. Н. Шаповалов, П. Шеллер (Германия), Е. А. Яценко

## Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников  
Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова

Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства науки и высшего образования РФ включен в  
«Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций  
на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» по следующим научным специальностям:  
2.5.6. Технология машиностроения; 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением; 2.6.1. Металловедение и термическая  
обработка металлов и сплавов; 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов; 2.6.3. Литейное производство;  
2.6.4. Обработка металлов давлением; 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы;  
2.6.17. Материаловедение; 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»  
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6,  
стр. 2, МИСИС, оф. 622

Адрес редакции:  
• фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6,  
стр. 2, МИСИС, оф. 617  
• почтовый: 119049, Москва, а/я № 71  
Телефон/факс: (495) 955-01-75  
Эл. почта: chemet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал  
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения  
«Черные металлы» № 1 (1117), январь 2025 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере  
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
(Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.)

Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной  
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»

Отпечатано с предоставленных готовых файлов  
в типографии «Канцлер»  
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16, стр. 66А.  
Тел. (4852) 58-76-33

Дата выхода в свет: 06.02.2025. Формат 60×90/8.  
Печ. л. 11. Офсетная печать. Бумага офсетная.  
Тираж 600 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель  
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор  
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции  
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна  
«Реклама» — материал публикуется на правах рекламы  
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции  
и редсовета журнала

Подписные индексы:  
12985 («Пресса России»)

ISSN 0132-0890



9 770132 089006 >

## СОДЕРЖАНИЕ

### Подготовка сырьевых материалов

- В. Б. Кусков, Е. С. Ильин.* Влияние углов конусности фильера, количества связующего и его вида на прочностные характеристики экструзионных брикетов . . . . . 4
- И. С. Берсенев, А. М. Бижанов, Э. Р. Сабиров, Н. А. Спирин.* Определение удельной поверхности порового пространства железорудных окатышей . . . . . 10

### Производство чугуна

- В. В. Грачев, И. В. Котов, А. В. Нефедов, Н. А. Чиченев.* Модернизация привода бункерного затвора автоклава доменного цеха для приготовления жидкого стекла . . . . . 16

### Прокатка

- А. В. Кожевников, Д. Л. Шалаевский, И. А. Кожевникова.* Исследование и проектирование процесса асимметричной холодной прокатки стальных полос. Сообщение 1 . . . . . 20

### Производство труб

- Б. В. Баричко, К. Ю. Яковлева.* Моделирование процесса профилирования трубы шестигранного сечения . . . . . 24
- М. М. Скрипаленко, Б. А. Романцев, М. Н. Скрипаленко, В. А. Воротников.* Оценка деформированного, теплового и кинематического состояний, и их влияние на микроструктуру заготовки из коррозионностойкой стали при трехвалковой винтовой прокатке . . . . . 31
- Ж. Я. Ротенберг, А. С. Будников, М. Д. Дудырев.* Формоизменение заготовки при поперечно-винтовой прокатке под воздействием внутриочагового осевого растяжения . . . . . 37
- А. Т. Мамедов, А. И. Бабаев, М. Ч. Гусейнов, Б. Б. Мусурзаева.* Анализ причин разрушения муфт обсадных труб при бурении нефтяных скважин и разработка рекомендаций для его предотвращения . . . . . 42

### Прокатка и металловедение

- Д. О. Пустовойтов.* Исследование формирования мелкозернистой структуры при асимметричной горячей прокатке низкоуглеродистых сталей . . . . . 49

### Композиционные материалы

- Н. С. Попов, А. Н. Сучков, М. Ю. Жарков, В. О. Кириллова.* Расчет допустимого теплового потока для композита вольфрам – сталь (WSS) энергонапряженного элемента термоядерного реактора . . . . . 57

### Машиностроительные технологии

- Е. Н. Малышев, Е. А. Лошкарева.* Анализ вариативности наработки между отказами фрез при разделке проката на основе накопительного подхода к обработке данных . . . . . 64

### Порошковая металлургия

- Ж. В. Еремеева, Ю. С. Тер-Ваганянц.* Исследование процесса спекания порошковой стали СП40ХСМФ, содержащей в исходной шихте смазку-пластификатор стеарат железа . . . . . 70

### Экология и рециклинг

- И. В. Буторина, М. В. Буторина, С. В. Ганин.* Анализ способов очистки газов от наночастиц . . . . . 76

### Экономика и финансы

- С. П. Петров.* Технологические основы декарбонизации в цепях поставок черной металлургии России . . . . . 81

### Хроника

- Олег Игоревич Борискин** . . . . . 87
- Ивану Михайловичу Потравному — 70 лет . . . . . 88
- Коллеги — о плодотворном сотрудничестве с журналом «Черные металлы» . . . . 30, 63, 74, III стр. обл.
- Отзыв на книгу «Легендарный Коксохим: помним прошлое, строим будущее!» . . . . . 75

## Модернизация привода бункерного затвора автоклава доменного цеха для приготовления жидкого стекла

**В. В. Грачев**, студент кафедры металлургических технологий и оборудования (МТиО)<sup>1</sup>,  
эл. почта: nfmisis@yandex.ru

**И. В. Котов**, ассистент кафедры математики и естествознания<sup>1</sup>, эл. почта: ivk92@yandex.ru

**А. В. Нефедов**, заместитель директора филиала по УМР, заведующий кафедрой МТиО<sup>1</sup>, канд. пед. наук,  
доцент, эл. почта: cosnovotr@rambler.ru

**Н. А. Чиченев**, профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования<sup>2</sup>, докт. техн. наук,  
эл. почта: chich38@mail.ru

<sup>1</sup> Новотроицкий филиал НИТУ МИСИС, Новотроицк, Россия.

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет МИСИС, Москва, Россия.

В результате анализа работоспособности автоклава для приготовления жидкого стекла, необходимого для футеровки чугунных ковшей доменного цеха, установлено, что в процессе длительной эксплуатации происходят отказы отдельных устройств, которые приводят к непланируемым простоям оборудования для варки жидкого стекла, и, как следствие, нарушению графика выполнения футеровок ковшей и задержке поставок чугуна для нужд электросталеплавильного цеха. Установлено, что при эксплуатации привода бункерного затвора автоклава, в котором для его открытия и закрытия используется электрический однооборотный механизм, наблюдается его частый выход из строя, что приводит к повышению расходов на техническое обслуживание и ремонт, а также к снижению производительности технологического процесса. Предложена замена электромеханического исполнительного механизма устаревшей конструкции на пневматический привод, который будет иметь более высокие показатели работоспособности и обеспечит эффективную работу агрегата при выполнении производственных процессов. Согласно расчетам, реализация проектных решений приведет к снижению себестоимости продукции на 0,01 %, увеличению рентабельности производства на 0,09 % и повышению прибыли от реализации на 0,07 %. Дополнительные капитальные затраты не превышают 400 тыс. руб., срок окупаемости составляет 4 мес.

**Ключевые слова:** доменное производство, футеровка чугунных ковшей, жидкое стекло, автоклав, электромеханический исполнительный механизм, пневматический привод.

**DOI:** 10.17580/chm.2025.01.03

### Введение

В последнее время надежность технических систем приобретает все более важное значение и для металлургических машин и оборудования становится одной из основных научно-технических проблем [1–4]. Недостаточная надежность технологических машин и входящих в них элементов и устройств вызывает значительное повышение расходов на их техническое обслуживание и существенное снижение производительности металлургического производства. Рост требований к качеству технологических машин и оборудования в целях снижения материальных, трудовых и финансовых затрат на техническое обслуживание и ремонт приводит к необходимости модернизации и реконструкции оборудования [5–10]. При этом большое внимание уделяют реинжинирингу оборудования горно-металлургического производства [11–15].

Вопрос модернизации привода бункерного затвора автоклава для приготовления жидкого стекла, необходимого для футеровки чугунных ковшей доменного цеха, является актуальным. Это обусловлено. Актуальность рассматриваемой проблемы заключается в том, что отказы. Наиболее распространенным в доменном производстве являются автоклавы вращающегося типа [16].

Целью данной работы является повышение надежности привода и снижение трудоемкости технического

обслуживания и ремонта на 22 ч/год. Замена электромеханического исполнительного механизма устаревшей конструкции на пневматический привод позволит увеличить межремонтный период эксплуатации и тем самым снизить эксплуатационные расходы.

Для осуществления технологического процесса приготовления жидкого стекла, необходимого для футеровки чугунных ковшей, в доменном цехе расположен соответствующий участок, примерная схема которого приведена на **рис. 1**. На территории участка располагается помещение 2, в котором установлен автоклав 3. С помощью грузоподъемного механизма (мостового или грейферного крана) в бункер 1 подается исходное сырье (силикат натрия или силикатная глыба).

Подача заданной порции силикат-глыбы в автоклав 3 осуществляется из бункера 1 емкостью 13 м<sup>3</sup> через бункерный затвор 2, в качестве которого в настоящее время используется электромеханический исполнительный механизм типа МЭО-160/100-75 [17], имеющий следующие технические характеристики: номинальный крутящий момент на выходном валу — 1600 Н·м; номинальная длительность одного оборота выходного вала — 100 с; максимальный угол поворота — 240 град.; потребляемая мощность не более — 600 Вт.

Механизмы электрические однооборотные (МЭО) предназначены для перемещения регулирующих органов в системах

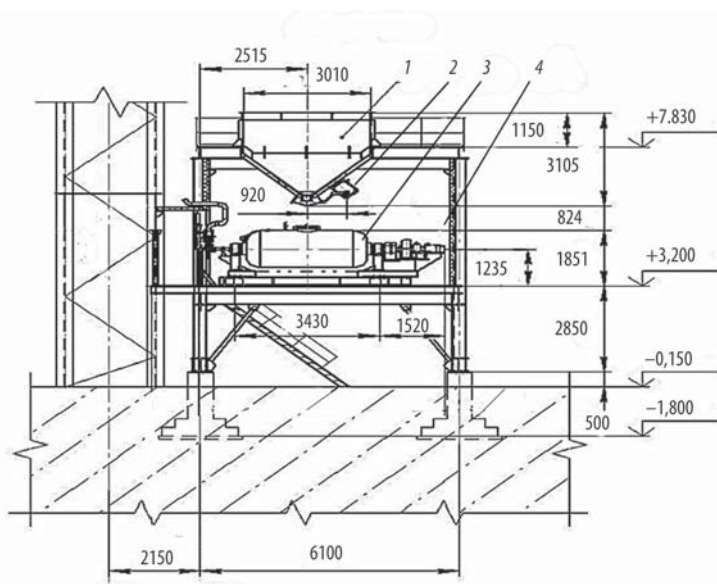


Рис. 1. Участок приготовления жидкого стекла

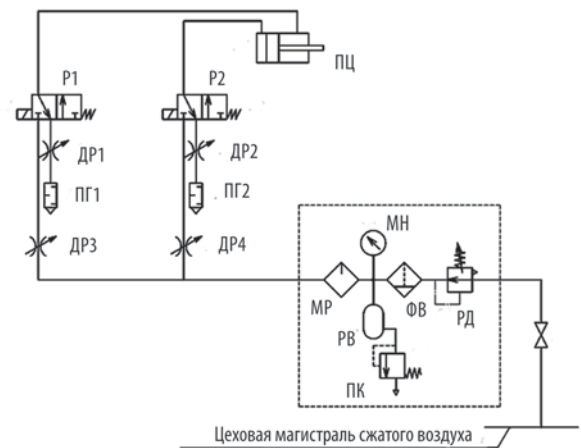


Рис. 2. Пневматическая схема привода бункерного затвора после модернизации

автоматического регулирования технологическими процессами в соответствии с командными сигналами, поступающими от регулирующих и управляющих устройств. При эксплуатации этого механизма наблюдается его частый выход из строя, что приводит к повышению расходов на их техническое обслуживание и ремонт, а также к снижению производительности технологического процесса.

### Разработка пневматической схемы привода бункерного затвора автоклава

Для устранения недостатков в работе действующего оборудования предложена замена электромеханического исполнительного механизма на пневматический привод, схема которого показана на рис. 2, а выбранная пневмоаппаратура приведена в таблице [18–24].

### Пневматическая аппаратура привода бункерного затвора

Наименование	Тип	Число
Пневмодроссель (ДР1–ДР4)	П-ДК-16-УХЛ4	4
Манометр (МН)	1001-1МПА-2,5	1
Маслораспылитель (МР)	ПМ-16-2-0-УХЛ4	1
Пневмоглушитель (ПГ1–ПГ2)	2113	2
Пневмоклапан предохранительный (ПК)	П-КАП-16-3-УХЛ4	1
Пневмоцилиндр (ПЦ)	ПЦ-1411-160-1000-УХЛ4	1
Пневмораспределитель (Р1–Р2)	РЭП-1-2-162-2-2-5-УХЛ4	2
Ресивер воздушный (РВ)	40N3L100A2500M	1
Регулятор давления (РД)	РД-100-50/0,3-06МПА	1
Фильтр-влагодделитель (ФВ)	П-ПФ-16-2-0-УХЛ4	1

Воздух поступает из централизованного источника воздуха предприятия через цеховую магистраль сжатого воздуха и последовательно проходит через регулятор давления (РД), фильтр-влагодделитель (ФВ) и маслораспылитель (МР), после чего через дроссели (ДР3)/(ДР4) он подается в пневмораспределители (Р1)/(Р2) и затем в пневмоцилиндр (ПЦ).

При открытии бункерного затвора воздух поступает через Р1 в штоковую полость ПЦ, что приводит к втягиванию штока (обратное перемещение штока). При этом остатки воздуха из поршневой полости удаляются в атмосферу через Р2, пневмодроссель ДР2 и пневмоглушитель ПГ2. При закрытии бункерного затвора воздух поступает через Р2 в поршневую полость ПЦ, в результате чего происходит выдвигание штока (прямое перемещение штока) совместно со створками затвора.

Регулятор давления РД обеспечивает регулирование и удержание заданного давления в системе, а ресивер РВ является аккумулятором воздуха для сглаживания пульсаций давления в системе. Распылитель масла нужен для насыщения воздуха маслом для смазывания трущихся поверхностей элементов пневмосистемы, а фильтр-влагодделитель — для очистки сжатого воздуха от капельной влаги, минерального масла, твердых частиц и удаления конденсата в пневматических приводах и системах промышленного оборудования различного назначения.

Пневматические глушители ПГ1 и ПГ2 применяют для снижения шумового эффекта при сбросе воздуха в окружающую среду. С помощью пневматических дросселей ДР1–ДР4 осуществляют настройки расхода воздуха в системе. Пневмораспределители типа РЭП используются для управления движением штока в двух направлениях. Пневмоклапан предохранительный типа П-КАП предназначен для сброса излишка давления в системе превышающего настроенного ему значения.

### Предлагаемая конструкция привода бункерного затвора автоклава

Конструкция пневмопривода бункерного затвора показана на (рис. 3). Для расчета размеров пневматического цилиндра требуются следующие параметры: требуемое усилие на штоке; рабочее давление в системе и ход штока цилиндра. На основе этих данных рассчитывают диаметр поршня и выбирают подходящий типоразмер из стандартных значений. При разработке конструкции гидроцилиндра учитывали требования к монтажу и подключению устройства к системе.

Усилие пневмоцилиндра  $F_{пц}$ , необходимое для поворота заслонки, можно рассчитать, взяв за основу данные при использовании электромеханического исполнительного механизма, по формуле:

$$F_{пц} = K_{зап} \cdot T_{ном} / R_{рыч} = 1,25 \cdot 1600 / 0,3 \approx 7000 \text{ Н},$$

где  $K_{зап} = 1,25$  — коэффициент запаса, учитывающий влияние трения;  $T_{ном} = 1600 \text{ Н·м}$  — номинальный крутящий момент на выходном валу механизма;  $R_{рыч} = 0,3 \text{ м}$  — радиус рычага механизма поворота.

Давление сжатого воздуха в центральной магистрали  $p_{ном} = 0,6 \text{ МПа}$ . Тогда внутренний диаметр  $D_{цил}$  пневмоцилиндра можно определить по формуле [25, 26]

$$D_{цил} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{пц}}{\delta \cdot p_{ном}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7000}{\delta \cdot 0,6}} \approx 122 \text{ мм}.$$

Диаметр штока  $D_{шт}$  определяют из соотношения  $D_{шт} = (0,25 \div 0,50) D_{цил}$ . С некоторым запасом по ГОСТ 6540–68 [27] приняли  $D_{цил} = 160 \text{ мм}$ ,  $D_{шт} = 80 \text{ мм}$  и ход поршня 600 мм.

Для оценки экономической эффективности от внедрения модернизированного привода бункерного затвора автоклава составлена смета капитальных затрат, в результате чего установлено, что сумма капитальных вложений с учетом дополнительных затрат на закупку и монтаж нового оборудования составляет около 400 тыс. руб. Основной экономический эффект, ожидаемый от внедрения нового привода, связан с сокращением времени, необходимого на проведение капитальных и текущих ремонтов, на 22 ч/год. Предлагаемое мероприятие по модернизации привода позволит снизить

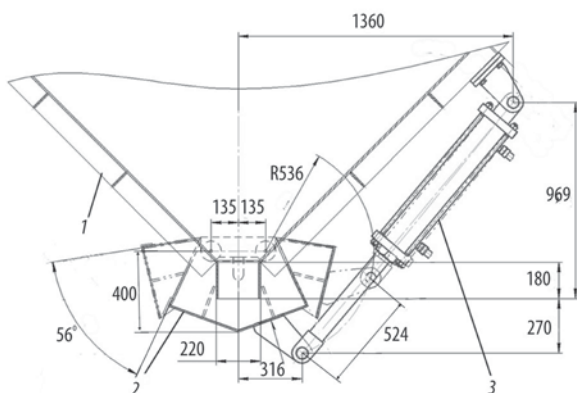


Рис. 3. Пневматический привод бункерного затвора: 1 — корпус бункера; 2 — бункерный затвор; 3 — пневмоцилиндр

себестоимость продукции на 0,01 %, повысить рентабельность производства на 0,09 % и прибыль от реализации на 0,07 %, что при существующем объеме производства позволило получить значительный экономический эффект. Затраты на внедрение предлагаемого устройства окупаются менее чем через 4 месяца с начала эксплуатации внедренного устройства. Данные показатели доказывают экономическую эффективность разработанного проекта.

### Заключение

В результате модернизации привода бункерного затвора автоклава для приготовления жидкого стекла, необходимого для футеровки чугунных ковшей, удалось упростить его конструкцию и уменьшить трудоемкость технического обслуживания и ремонта на 22 ч/год. Замена электромеханического исполнительного механизма устаревшей конструкции на пневматический привод позволит увеличить межремонтный период эксплуатации и тем самым снизить эксплуатационные расходы. Расчеты показывают, что реализация проектных решений приведет к снижению себестоимости продукции, увеличению рентабельности производства и повышению прибыли от реализации. Срок окупаемости дополнительных капитальных затрат в размере 400 тыс. руб. составит менее 4 мес.

ЧМ

### Библиографический список

1. Ефремов Д. Б., Степанов В. М., Чиченева О. Н. Модернизация механизма быстрого отжима валков прокатной клетки ДУО стана 2800 АО «Уральская Сталь» // Сталь. 2020. № 8. С. 44–47.
2. Нефедов А. В., Свищкарь В. В., Чиченева О. Н. Реинжиниринг скипового подъемника для загрузки печи литейного отделения ЗАО «РИФАР» // Сталь. 2020. № 7. С. 50–53.
3. Matsuzaki S., Ito M., Morita A. Development of blast furnace operation data visualization and analysis technology // Nippon Steel Technical Report. 2020. Vol. 123. P. 100–108.
4. Нефедов А. В., Танчук А. В., Чиченев Н. А. Модернизация привода опрокидывателя рудных вагонеток Донского ГОК АО «ТНК Казхром» // Горный журнал. 2022. № 8. С. 52–56.
5. Bardovskiy A. D., Gorbatyuk S. M., Keropyan A. M., Bibikov P. Ya. Assessing parameters of the accelerator disk of a centrifugal mill taking into account features of particle motion on the disk surface // Journal of Friction and Wear. 2018. Vol. 39, Iss. 4. P. 326–329.
6. Bazhin V. Yu., Glazev M. V. Refractory materials of metallurgical furnaces with the addition of silicon production waste // Non-ferrous Metals. 2022. Vol. 1. P. 32–39.
7. Жильцов А. П., Вишневецкий Д. А., Козачишен В. А., Бочаров А. В. Разработка алгоритма и компьютерной программы для расчета надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли // Черные металлы. 2018. № 11. С. 27–33.
8. Горбатюк С. М., Зарапин А. Ю., Чиченев Н. А. Модернизация вибрационного грохота горнорудного общества «Катока» (Ангола) // ГИАБ. 2018. № 1. С. 143–149.
9. Moller A. B., Tulupov O. N., Levandovskiy S. A., Nazarov D. A. Providing steel with an approximate application of the mechanical properties of wire rod 5.5–6.5 mm from steel grades 70–75 based on a conventional twin of the Stelmor process // CIS Iron and Steel Review. 2022. Vol. 23. P. 28–32.
10. Hartig W., Amirzadeh-Asl D., Fünders D. Economic effects of the metallurgical use of synthetic TiO<sub>2</sub> Products in order to prolong the campaign of blast furnace // Proceedings of METEC & 2<sup>nd</sup> ESTAD, 15 to 19 June 2015, Düsseldorf, Germany. Düsseldorf, 2015. Track C. Session 3.
11. Zinyagin A. G. Use of machine learning methods for determination of the boundary conditions coefficients in a FEM task for the case of accelerated cooling of hot-rolled sheet metal // CIS Iron and Steel Review. 2023. Vol. 25. P. 58–66.

12. Неведов А. В., Новикова Ю. В., Чиченева О. Н. Манипулятор для подачи короба с жидким раствором для ремонта чугуновозных ковшей в доменном цехе АО «Уральская Сталь» // Черные металлы. 2021. № 9. С. 4–9.
13. Nefedov A. V., Svichkar V. V., Chicheneva O. N. Re-engineering of equipment to feed the melting furnace with aluminum charge // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2021. P. 1198–1204.
14. Чиченев Н. А. Реинжиниринг устройства для центрирования сляба в клетки обжимного стана // Металлург. 2018. № 7. С. 76–80.
15. Toporkova Yu. I., Bludova D., Mamyachenkov S. V., Anisimova O. S. A review of processing methods for electric arc furnace dust // iPolytech. Journal. 2021. Vol. 25, Iss. 5. P. 643–680.
16. Автоклавы для варки жидкого стекла типа АВГ. — URL: <https://original-trade.com/sosudy-apparaty/avtoklav/avtoklav-tupikovy/355-avtoklavly-dlya-varki-gidkogo-stekla> (дата обращения: 29.05.2024).
17. Фильтры-влажнители типа П-ФВ. — URL: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=80> (дата обращения: 29.05.2024).
18. Пневмораспределители трехлинейные и четырехлинейные клапанные РЭП. — URL: <https://www.pnevmoport.ru/rap.pdf> (дата обращения: 29.05.2024).
19. Маслораспылитель типа ПМ. — URL: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=81> (дата обращения: 29.05.2024).
20. Пневмоглушитель 2113. — URL: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=111> (дата обращения: 29.05.2024).
21. Пневмоклапана типа П-КАП. — URL: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=124> (дата обращения: 29.05.2024).
22. Пневмодроссель типа П-ДК. — URL: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=48> (дата обращения: 29.05.2024).
23. Регулятор давления РД-100-50. — URL: <https://www.gazovik-sbyt.ru/catalogue/regulatory-davleniya-gaza/rd-100-50/> (дата обращения: 29.05.2024).
24. Ресивер воздушный серии 40. — URL: <https://пневмоцилиндр.рф/index.php/resivery-vozdushnye-vakuumnnye/40n31100a2500m-detail> (дата обращения: 29.05.2024).
25. Дорошенко В. А. Объемный гидро- и пневмопривод: учеб. пособие. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 196 с.
26. Beater P. Pneumatic Drives. — Springer Berlin, Heidelberg, 2007. — 338 p.
27. ГОСТ 6540–68. Гидроцилиндры и пневмоцилиндры. Ряды основных параметров. — Введ. 01.07.1969.

“Chernye metally”, 2025, No. 1, pp. 16–19  
DOI: 10.17580/chm.2025.01.03

### Modernization of the drive of the hopper gate of the blast furnace autoclave for preparation of liquid glass

#### Information about authors

V. V. Grachev, Student, Dept. of Metallurgical Technologies and Equipment<sup>1</sup>, e-mail: [nfmisis@yandex.ru](mailto:nfmisis@yandex.ru)

I. V. Kotov, Assistant, Dept. of Mathematics and Natural Science<sup>1</sup>, e-mail: [ivk92@yandex.ru](mailto:ivk92@yandex.ru)

A. V. Nefedov, Cand. Ped., Associate Prof., Deputy Director of the Branch for UMR, Head of the Dept. of Metallurgical Technologies and Equipment<sup>1</sup>, e-mail: [cosnovotr@rambler.ru](mailto:cosnovotr@rambler.ru)

N. A. Chichenev, Dr. Eng., Prof., Dept. of Engineering of Technological Equipment<sup>2</sup>, e-mail: [chich38@mail.ru](mailto:chich38@mail.ru)

<sup>1</sup> Novotroitsk branch of NUST MISIS, Novotroitsk, Russia.

<sup>2</sup> NUST MISIS, Moscow, Russia.

**Abstract:** As a result of the analysis of the operability of the autoclave for the preparation of liquid glass necessary for lining cast iron buckets of the blast furnace shop, it was found that during long-term operation, failures of individual devices occur, which lead to unplanned downtime of equipment for cooking liquid glass, and as a result, to disruption of the bucket lining schedule and delay in the supply of cast iron for the needs of the electric steelmaking shop. It has been established that during operation of the autoclave hopper gate drive, in which an electric single-turn mechanism is used to open and close it, its frequent failure is observed, which leads to increased maintenance and repair costs, as well as to a decrease in the productivity of the technological process. It is proposed to replace the old electromechanical actuator with a pneumatic actuator, which will have higher performance indicators and ensure efficient operation of the unit during production processes. Calculations show that the implementation of design solutions leads to a decrease in the cost of production by 0.01 %, an increase in the profitability of production by 0.09 % and an increase in profit from sales by 0.07 %. Additional capital expenditures do not exceed 400 thousand rubles and pay off in less than 4 months.

**Key words:** blast furnace production, lining of cast iron ladles, water glass, autoclave, electromechanical actuator, pneumatic drive.

#### References

1. Efremov D. B., Stepanov V. M., Chicheneva O. N. Modernization of the mechanism for quick lifting of rolls of the rolling stand DUO of the 2800 mill of JSC Ural Steel. *Stal*. 2020. No. 8. pp. 44–47.
2. Nefedov A. V., Svichkar V. V., Chicheneva O. N. Reengineering of a skip hoist for loading a furnace in the foundry department of RIFAR CJSC. *Stal*. 2020. No. 7. pp. 50–53.
3. Matsuzaki S., Ito M., Morita A. Development of blast furnace operation data visualization and analysis technology. *Nippon Steel Technical Report*. 2020. Vol. 123. pp. 100–108.
4. Nefedov A. V., Tanchuk A. V., Chichenev N. A. Modification of car tippler drive at Donskoy Ore Mining and Processing Plant. *Gornyi Zhurnal*. 2022. No. 8. pp. 52–56.
5. Bardovskiy A. D., Gorbatyuk S. M., Keropyan A. M., Bibikov P. Ya. Assessing parameters of the accelerator disk of a centrifugal mill taking into account features of particle motion on the disk surface. *Journal of Friction and Wear*. 2018. Vol. 39, Iss. 4. pp. 326–329.
6. Bazhin V. Yu., Glazev M. V. Refractory materials of metallurgical furnaces with the addition of silicon production waste. *Non-ferrous Metals*. 2022. Vol. 1. pp. 32–39.
7. Zhiltsov A. P., Vishnevsky D. A., Kozachishen V. A., Bocharov A. V. Development of the algorithm and computer program for calculating the equipment reliability and production risk in the metallurgical industry. *Chernye Metally*. 2018. No. 11. pp. 27–33.
8. Gorbatyuk S. M., Zarapin A. Yu., Chichenev N. A. Modernization of the vibrating screen of the Catoca mining company (Angola). *MIAB*. 2018. No. 1. pp. 143–149.
9. Moller A. B., Tulupov O. N., Levandovskiy S. A., Nazarov D. A. Providing steel with an approximate application of the mechanical properties of wire rod 5.5–6.5 mm from steel grades 70–75 based on a conventional twin of the Stelmor process. *CIS Iron and Steel Review*. 2022. Vol. 23. pp. 28–32.
10. Hartig W., Amirzadeh-Asl D., Fünders D. Economic effects of the metallurgical use of synthetic TiO<sub>2</sub> Products in order to prolong the campaign of blast furnace. *Proceedings of METEC & Z<sup>nd</sup> ESTAD, 15 to 19 June 2015, Düsseldorf, Germany. Düsseldorf, 2015. Track C. Session 3*.
11. Zinyagin A. G. Use of machine learning methods for determination of the boundary conditions coefficients in a FEM task for the case of accelerated cooling of hot-rolled sheet metal. *CIS Iron and Steel Review*. 2023. Vol. 25. pp. 58–66.
12. Nefedov A. V., Novikova Yu. V., Chicheneva O. N. Manipulator for feeding a box with liquid solution for repair of cast iron buckets at blast furnace shop of JSC Ural Steel. *Chernye Metally*. 2021. No. 8. pp. 4–9.
13. Nefedov A. V., Svichkar V. V., Chicheneva O. N. Re-engineering of equipment to feed the melting furnace with aluminum charge. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. pp. 1198–1204.
14. Chichenev N. A. Reengineering of a device for centering a slab in a roughing mill stand. *Metallurg*. 2018. No. 7. pp. 76–80.
15. Toporkova Yu. I., Bludova D., Mamyachenkov S. V., Anisimova O. S. A review of processing methods for electric arc furnace dust. *iPolytech. Journal*. 2021. Vol. 25, Iss. 5. pp. 643–680.
16. AVG type autoclaves for melting liquid glass. Available at: <https://original-trade.com/sosudy-apparaty/avtoklav/avtoklav-tupikovy/355-avtoklavly-dlya-varki-gidkogo-stekla> (accessed: 29.05.2024).
17. P-FV type filters-moisture separators. Available at: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=80> (accessed: 29.05.2024).
18. Three-way and four-way valve pneumatic PER distributors. Available at: <https://www.pnevmoport.ru/rap.pdf> (accessed: 29.05.2024).
19. PM type oil sprayer. Available at: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=81> (accessed: 29.05.2024).
20. Pneumatic silencer 2113. Available at: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=111> (accessed: 29.05.2024).
21. P-KAP type pneumatic valves. Available at: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=124> (accessed: 29.05.2024).
22. P-DK type pneumatic throttle. Available at: <https://gidravlika.by/index.pl?act=PRODUCT&id=48> (accessed: 29.05.2024).
23. Pressure regulator RD-100-50. Available at: <https://www.gazovik-sbyt.ru/catalogue/regulatory-davleniya-gaza/rd-100-50/> (accessed: 29.05.2024).
24. 40 series air receiver. Available at: <https://пневмоцилиндр.рф/index.php/resivery-vozdushnye-vakuumnnye/40n31100a2500m-detail> (accessed: 29.05.2024).
25. Doroshenko V. A. Volumetric hydraulic and pneumatic drive: textbook. Yekaterinburg: Izdatelstvo Uralskogo universiteta, 2019. 196 p.
26. Beater P. Pneumatic Drives. Springer Berlin, Heidelberg, 2007. 338 p.
27. ГОСТ 6540–68. Hydraulic and pneumatic cylinders. Ranges of basic parameters. Introduced: 01.07.1969.